

УДК 621.763

**В.В. ПАШИНСКИЙ** (д-р техн.наук, доц.), **М.Г. СУББОТИНА**  
Донецкий национальный технический университет, Донецк

## ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ Ti-Cu МАТРИЦЫ, УПРОЧНЕННОЙ TiC

В статье рассматриваются такие вопросы: выбор количественного состава матрицы и количества добавок TiC; выбор температуры спекания порошков исходных материалов; изучение микроструктуры и микротвёрдости готового композита. Было установлено, что при выборе состава матрицы наиболее перспективным оказался состав 10% Ti и 90% Cu. В материале с 30% TiC после спекания при  $1100 \pm 10^\circ\text{C}$  образуется трёхфазная структура, в которой связка достаточно равномерно распределена в отличие от состава с большим содержанием TiC (где её недостаточно для смачивания всего количества карбида). Микротвёрдость матрицы такого материала составила  $3590 \pm 137$  Н/мм<sup>2</sup>.

Ключевые слова: композиционный материал, карбид титана, порошок, спекание, матрица, медь, титан, смачивание, краевой угол.

### Введение

Среди существующих композиционных материалов большую часть занимают материалы, полученные из дисперсных тугоплавких частиц, внедрённых в более легкоплавкую матрицу. Популярность применения карбида титана в таких композициях обусловлена такими его положительными качествами, как высокая твёрдость, модуль упругости, хорошая смачиваемость расплавленными Ni, Fe, Co. Краевые углы смачивания  $\alpha_{\text{кр}}$  TiC этими металлами в вакууме соответственно равны: Co –  $5^\circ$  ( $1500^\circ\text{C}$ ), Ni –  $38^\circ$  ( $1500^\circ\text{C}$ ), Fe –  $41^\circ$  ( $1550^\circ\text{C}$ ) [1].

Столь малые углы смачивания дают хорошие предпосылки для создания материалов с матрицей на основе перечисленных металлов. Однако существует группа металлов, имеющих малое сродство к карбиду титана и большие  $\alpha_{\text{кр}}$ . К таким металлам относится, среди прочих, медь:  $\alpha_{\text{кр}}$  Cu –  $100^\circ$  ( $1100^\circ\text{C}$ ) [1-2]. Увеличение смачиваемости TiC при использовании этого металла в качестве связки может быть достигнуто использованием адгезионно-активных добавок, таких титан. Ведение его в небольших количествах - 3..10% - значительно снижает  $\alpha_{\text{кр}}$  [1-4]. Таким образом, существует предпосылка успешного создания композита с матрицей медь-титан.

Состояние двойной металлической системы Ti-Cu описывается соответствующей диаграммой, приведённой на рисунке 1.

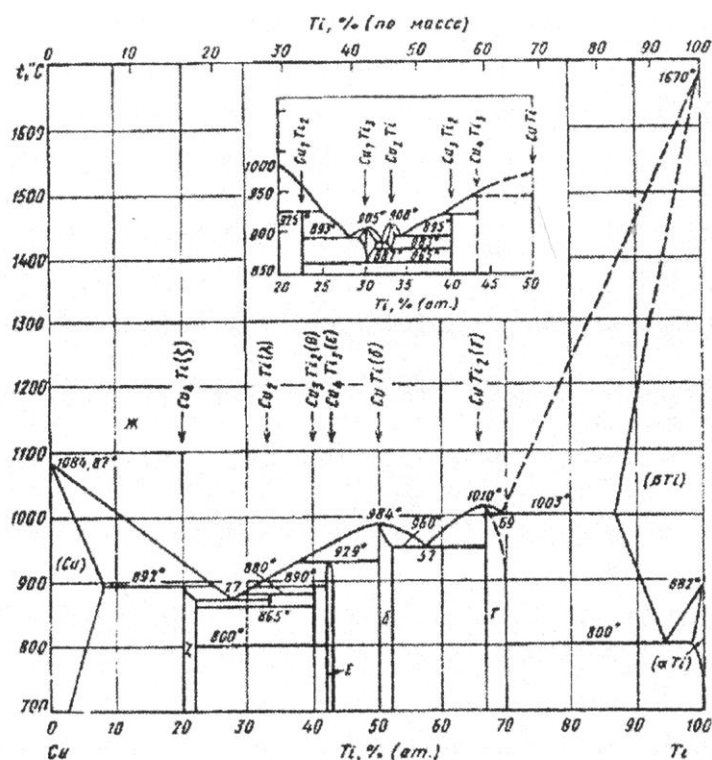


Рисунок 1 – Диаграмма состояния системы Cu-Ti [5].

В интервале концентраций титана 5-10%мас. в системе реализуется перитектическое превращение  $Ж+(Cu) \rightarrow Cu_4Ti$ , температура перитектического равновесия  $t_{пер}=892^{\circ}C$ . Структура и свойства такого сплава изучены в малой степени, поэтому представляет собой интерес рассмотрение с точки зрения использования в качестве матрицы для композиционного материала.

### Цель работы

Целью данной работы является изучение возможности создания материала на основе Cu-Ti, упрочнённого TiC, используя метод спекания порошков без приложения внешнего давления.

### Основная часть

Материалом для изготовления образцов служил порошок титана фракцией меньше 100 мкм ( $Ti > 99\%$ ) и измельчённая стружка меди марки М0. Выбранные составы и температуры спекания приведены в таблице 1.

Спекание проводилось в лабораторной печи с окислительной атмосферой. Исходные материалы размещались в тигле согласно увеличению их плотности: внизу тигля помещался порошок титана ( $\rho=4,54 \text{ г/см}^3$ ), а выше слой меди ( $\rho=8,92 \text{ г/см}^3$ ). Такое расположение исходных материалов обеспечивает естественное перемешивание расплава и частиц карбида титана во время спекания. Для предотвращения окисления на поверхность насыпался порошок карбюризатора. После выдержки при температуре спекания тигли охлаждались в печи до полного остывания.

Таблица 1 – Состав спекаемого сплава Ti-Cu.

№	Состав, % масс.		Температура спекания $t_{сп}$ , °C	Время выдержки при $t_{сп}$ , минуты
	Ti	Cu		
1	5	95	1060±10	20
2	5	95	1100±10	20
3	7,5	92,5	1050±10	20
4	7,5	92,5	1080±10	20
5	10	90	1050±10	20
6	10	90	1080±10	20

Сплавы составов №1-6 были получены при различной температуре нагрева – близкой к температуре ликвидуса (составы №1, 3, 5) и на ~50°С выше её (составы № 2, 4, 6).

В образцах составов № 1, 3, 5 после охлаждения медь и титан не образовали гомогенного материала, присутствовали скопления порошков, не перемешавшихся друг в друге (рис. 2,а). Это говорит о том, что выбранная температура нагрева была ниже необходимой.

В структуре образца состава №2 (с 5%мас Ti) обнаружен твёрдый раствор на основе меди (рис. 2, б) без признаков произошедшего перитектического превращения.

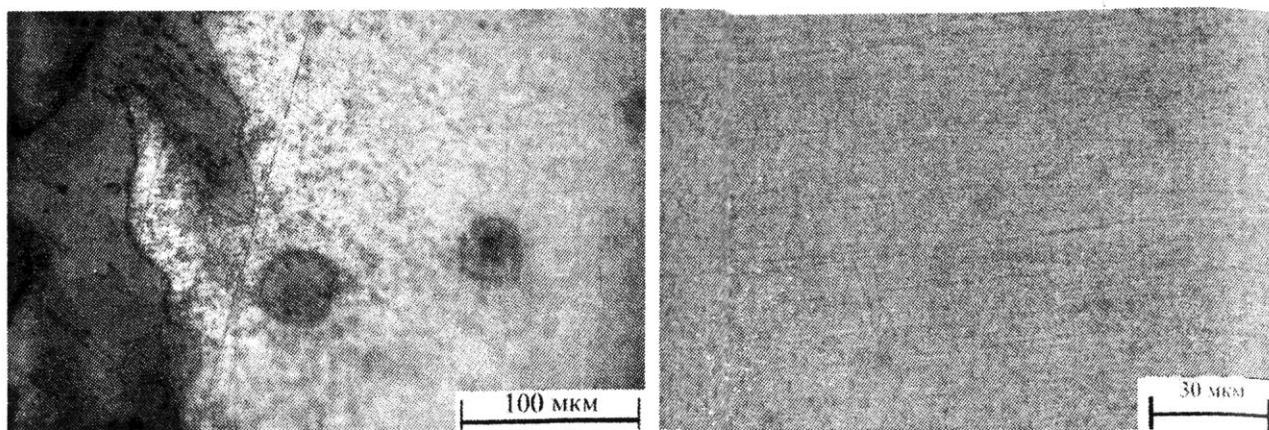
Это свидетельствует о том, что в данном сплаве область, претерпевающая данное превращение, смещена вправо (в сторону больших концентраций титана). Это могло произойти в силу неравновесных условий охлаждения либо метастабильности сплава.

Структура образца состава №4 (с 7,5%мас Ti) состояла из твёрдого раствора на основе меди и выделений второй фазы -  $Cu_4Ti$  (рисунок 2, в). На нетравленном шлифе эти фазы хорошо различимы по цвету. Сплав состава №6 (10%мас Ti) состоял также из двух фаз (рисунок 2, г), таким образом, при концентрации титана в сплаве 7,5 и 10% осуществляется перитектическое превращение.

На основании полученных данных были сделаны такие предварительные выводы:

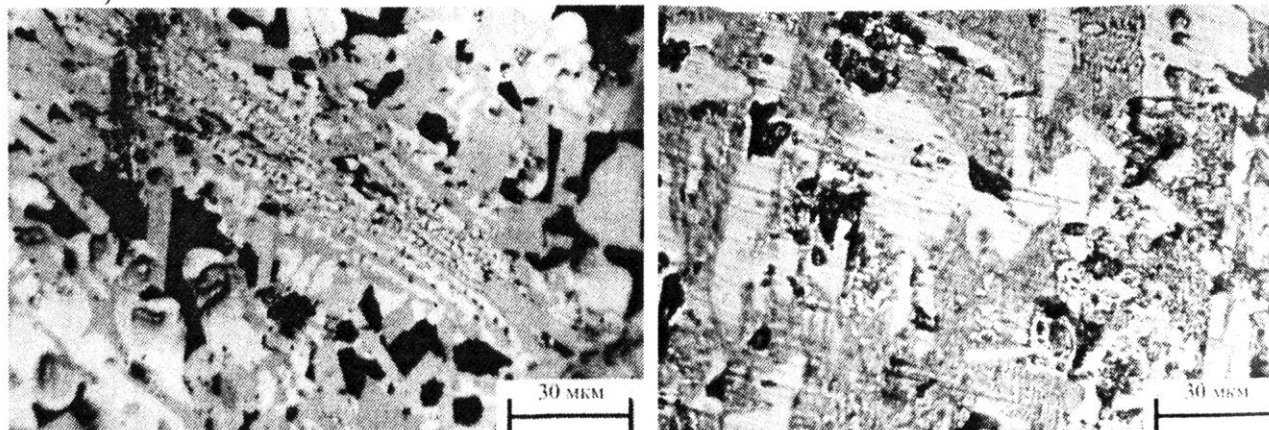
- температуру нагрева для спекания выбирать на ~50°С выше температуры соответствующего ликвидуса;
- провести спекание композиционных материалов, состоящих из матрицы 10%мас.Ti+90%мас.Cu и добавок 20,30 и 50%мас. TiC.

Спекание образцов, содержащих карбид титана, проводилось по описанной выше технологии. Для приготовления образцов был использован порошок карбида титана чистый для анализа. Тигель наполнялся также согласно плотности: порошок титана, порошок карбида титана ( $\rho=4,93$  г/см<sup>3</sup>) и затем медь. Составы приведены в таблице 2.



а) состав №1 –  
5% масс. Ti+90%масс. Cu,  
 $t_{сп}=1050\pm 10^{\circ}\text{C}$ , светлая область –  
медь, тёмная – нерастворившийся  
титан;

б) состав №2 –  
5%масс. Ti+90%масс. Cu  
 $t_{сп}=1100\pm 10^{\circ}\text{C}$ ;



в) состав №4 –  
7,5% масс. Ti+90%масс. Cu;

г) состав №6 –  
10% масс. Ti+90%масс. Cu;

Рисунок 2 – Микроструктура полученных сплавов.

Таблица 2 – Состав спекаемого композиционного материала.

№	% масс.			Температура спекания $t_{сп}$ , °C	Время выдержки при $t_{сп}$ , минуты
	Ti	Cu	TiC		
7	5 / 10*	45 / 90*	50	1100±10	20
8	7 / 10*	63 / 90*	30	1100±10	20
9	8 / 10*	72 / 90*	20	1100±10	20
10	8 / 10*	72 / 90*	20	1080±10	20

Примечание: \* - %масс. элемента в матрице.

Сплав, содержащий 50% TiC, не обладал достаточной гомогенностью и однородностью. Объёма образовавшейся жидкости оказалось недостаточно для равномерного распределения по большому количеству карбида, в результате чего не образовался целостный материал. Содержимое тигля после охлаждения составляло порошок карбида титана, который не проре-

агировал с расплавом. Следовательно, содержание карбида должно быть уменьшено до 20 и 30%.

При 30% TiC (рис. 3,а) структура состояла из карбида титана и перитектики. Карбид титана был равномерно окружён матрицей, что говорит о хорошей смачиваемости TiC Ti-Cu связкой. Скопленый карбида, изолированных от матрицы не обнаружено, значит, при спекании произошло перемешивание всех составляющих

При введении 20% TiC (рис. 3, б, в) в материале образуются участки двух типов – светлые на основе меди и тёмные области перитектики. Это означает, что исходные порошки не перемешались.

Причины такого расслоения требуют дальнейшего изучения, вероятнее всего, температура спекания была недостаточно высокая. В участках на основе меди наблюдаются продолговатые и овальные шлаковые включения.

Во всех полученных образцах выявлено большое количество пор, что характерно для используемого способа получения материала.

На образцах была измерена микротвёрдость. В сплаве №6 - 10% Ti+90% Cu микротвёрдость составила  $3843 \pm 215$  Н/мм<sup>2</sup>, в сплаве с 30% TiC -  $3590 \pm 137$  Н/мм<sup>2</sup> (для матрицы), в сплавах с 20% TiC для фазы на основе меди -  $1683 \pm 134$  Н/мм<sup>2</sup> (№9) и  $1701 \pm 137$  Н/мм<sup>2</sup> (№10).

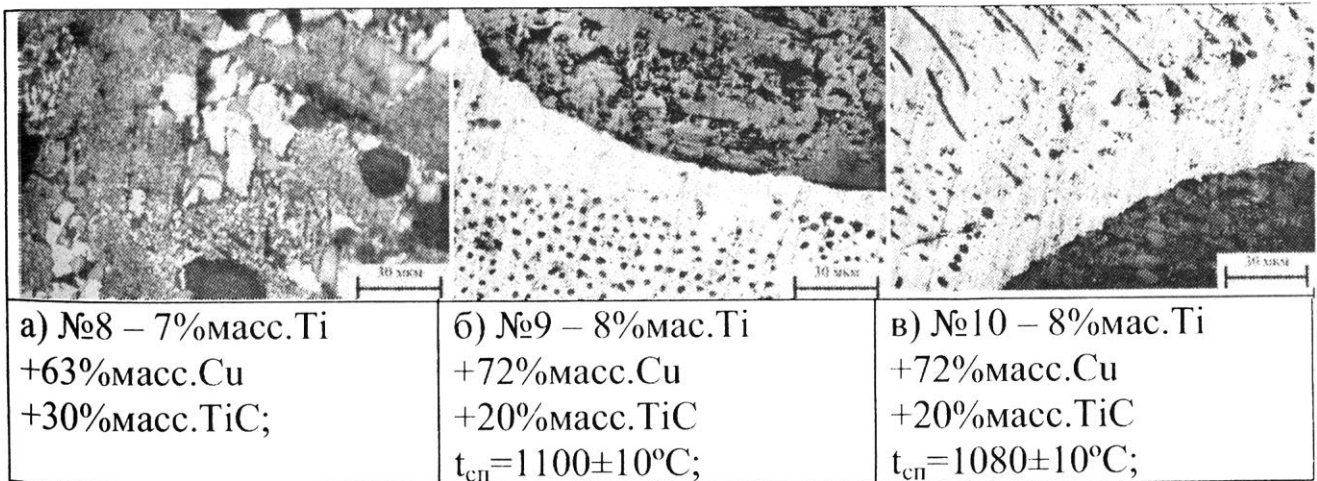


Рисунок 3 – Микроструктура полученных материалов.

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

В результате выполненных исследований установлено, что Ti-Cu сплав может быть использован качестве матрицы композиционного материала на основе TiC. Рекомендуется использовать матрицу с концентрацией титана не менее 7,5%, в данной работе был использован сплав с 10%мас.Тi. Установлено, что этот состав обеспечивает удовлетворительное смачивание карбида титана при спекании. Было выяснено, что температура нагрева при спекании должна быть на  $\sim 50^{\circ}$  выше температуры ликвидуса соответствующего состава.

При содержании в композите 50%мас.ТiС объёма жидкости недостаточно для равномерного распределения по карбиду и однородный материал не образуется. Рекомендуются вводить карбид в количестве менее 50%. В данной работе изучены композиты с содержанием карбида титана 20 и 30%. Микротвёрдость матрицы такого материала составляет  $3590 \pm 137$  Н/мм<sup>2</sup>.

В дальнейшем перспективно провести спекание в вакууме этих же составов, а также оценить возможность использования добавок различных элементов, обладающих адгезионно-активным действием.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисовский А.Ф. Формирование структуры композиционных материалов при обработке металлическими расплавами / А.Ф. Лисовский. – К.: Наукова думка, 2008. – 198 с.
2. Композиционные материалы: справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тернопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 510 с.
3. Сумм Б.Д. Физико-химические основы смачивания и растекания / Б.Д. Сумм, Ю.В. Горюнов. – М.: Химия. – 1976. – 236 с.
4. Сурков В.А. Исследование порошковых материалов на медной основе для изготовления антифрикционных изделий / А.В. Сурков // Вестник машиностроения. – 2010. – № 5. – С. 76-77.
5. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник / под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение. – 2000. – Т.1. – 1024 с.

Надійшла до редакції 04.09.2012

Рецензент д-р техн. наук, проф. Є.М. Смірнов

V.V. Pashinsky, M.G. Subbotina

Донецький національний технічний університет, Донецьк

#### ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ СТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ Ti-Cu МАТРИЦІ, ЗМІЦНЕНОЇ TiC

У статті розглядаються такі питання: вибір кількісного складу матриці та кількості добавок TiC; обґрунтування температури спікання порошків початкових матеріалів; дослідження мікроструктури та микротвердості спеченого композиту. Було встановлено, що найбільш доцільно використовувати матрицю складом 10% Ti і 90% Cu. В матеріалі з 30% TiC після спікання при  $1100 \pm 10^\circ\text{C}$  утворюється трифазна структура, в якій зв'язка розподілена досить рівномірно на відміну від складу з більшим вмістом TiC (де її недостатньо для змочування всієї кількості карбиду). Микротвердість матриці такого композиту становила  $3590 \pm 137$  Н/мм<sup>2</sup>.

Ключові слова: композиційний матеріал, карбід титану, порошок, спікання, матриця, мідь, титан, змочування, крайовий кут.

V.V. Pashinsky, M.G. Subbotina

Donetsk national technical university, Donetsk

#### ESTIMATION OF POSSIBILITY OF Ti-Cu MATRIX AND TiC REINFORCED COMPOSITE MATERIALS DEVELOPING

There are several main issues in the spotlight in this article. First of all, it's the material compound, specifically the matrix compound and TiC particles amount. Secondly, it's the sintering temperature justification and, thirdly, microstructure and microhardness assessing. It is established that 10%wt Ti + 90%wt Cu matrix is reasonable to be used. The binder was rationed in the composite with 30%wt TiC after sintering at  $1100 \pm 10^\circ\text{C}$  in contrast to composite with higher TiC content (in that case it was not enough binder to wet reinforcing particles). The composite matrix microhardness was evaluated and amounted to  $3590 \pm 137 \text{ N/mm}^2$ .

Keywords: composite material, titanium carbide, powder, sintering, binder, cooper, wetting, contact angle.

## УДК 621.771.28

**А.А. МИНАЕВ** (д-р техн.наук, проф.), **Е.Н. СМИРНОВ** (д-р техн.наук, проф.), **В.М. КАШАЕВ** (канд.техн.наук, доц.),  
**В.В. КАШАЕВ** (канд.техн.наук)

Донецкий национальный технический университет, Донецк

### ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ В ВЫТЯЖНЫХ КАЛИБРАХ ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНОВ

Представлены теоретические положения оценки эффективности формоизменения с помощью коэффициента полезного действия (КПД) работы пластической деформации, а также методика использования для анализа действующих калибровок и проектирования новых. Показана возможность использования полученных критериев для анализа работающих систем вытяжных калибров, а также для поиска альтернативных вариантов по энергоэффективности.

Ключевые слова: проволочные станы, эффективное формоизменение, энергоэффективность, высококачественные стали.

#### Постановка задачи

Современные высокоскоростные проволочные станы являются самыми энергозатратными прокатными агрегатами с удельным расходом электроэнергии, достигающим 200 кВт·ч/т. Актуальными для производителей сортовых профилей и катанки в Украине являются задачи энергосбережения за счёт эффективности деформации. Поэтому вопросы повышения энергетической эффективности формоизменения металла в калибрах, особенно при расширении марочного сортамента высоколегированных сталей являются задачами актуальными, и имеющими важное научное и практическое значение.